

УДК 524.38

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ 1RXS J180834.7+101041

*Д.Г. Якин, В.Ф. Сулейманов, Н.В. Борисов, И.Ф. Бикмаев*

### Аннотация

В статье кратко представлены результаты фотометрических и спектроскопических исследований новой затменной катаклизмической переменной звезды 1RXS J180834.7+101041. В спектре системы обнаружены двухпиковые эмиссионные линии водорода и гелия. Доплеровские карты, построенные по водородным линиям, показывают неоднородное распределение эмиссионного излучения в диске, близкое к наблюдаемому в IP Peg. Это позволяет предположить, что объект может быть катаклизмической переменной с приливными волнами плотности в диске. Массы компонент ( $M_{WD} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$  и  $M_{RD} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$ ) и наклон системы ( $i = 78^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ ) определены на основе известных соотношений параметров для катаклизмических переменных звезд.

**Ключевые слова:** катаклизмические переменные, затменные звезды, 1RXS J180834.7+101041.

---

### Введение

Объект 1RXS J180834.7+101041 = USNO-B1 1001-0317189 ( $\alpha_{2000} = 18^{\text{h}}08^{\text{m}}35^{\text{s}}.8$ ,  $\delta_{2000} = +10^{\circ}10'30''.2$ ), сокращенно 1RXS J1808, впервые обнаружен орбитальной обсерваторией ROSAT как рентгеновский источник и затем идентифицирован как затменная тесная двойная система с аккрецирующим белым карликом (катаклизмическая переменная) с яркостью  $16^{\text{m}}\text{--}17^{\text{m}}$  [1]. Денисенко и др. [1] определили период обращения двойной ( $0.^{\text{d}}070037(1)$ ) и обнаружили переменность излучения с амплитудой  $\sim 1^{\text{m}}$  на временах нескольких недель, что дало основания классифицировать систему как поляр. Но в спектре системы (см. [2]) была обнаружена двухпиковая структура эмиссионных линий водорода и гелия, что говорит о наличии аккреционного диска вокруг белого карлика и противоречит природе поляр.

В настоящей работе на основе анализа новых спектрометрических и фотометрических наблюдений определены параметры системы, а также уточнена ее классификация и исследовано распределение яркости по аккреционному диску в ряде эмиссионных линий.

### 1. Наблюдения

Фотометрические наблюдения 1RXS J1808 выполнялись в ночи с 1 на 2 и 12 на 13 августа 2008 г. на 1.5-м российско-турецком телескопе (RTT-150) в Национальной обсерватории TUBITAK (Турция). Была использована термоэлектрически охлажденная CCD-камера ANDOR (модель DW436,  $2048 \times 2048$  пикселей и размером пикселя  $13.5 \times 13.5$  мкм) при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ , расположенная в кассетреновском фокусе телескопа. Наблюдения проводилось в  $g'$ - и V-полосах с временем единичной экспозиции 25 с и 20 с соответственно. Полное время наблюдений составило около 6 ч. Фотометрическая калибровка проводилась по звездам-стандартам Ландольта.

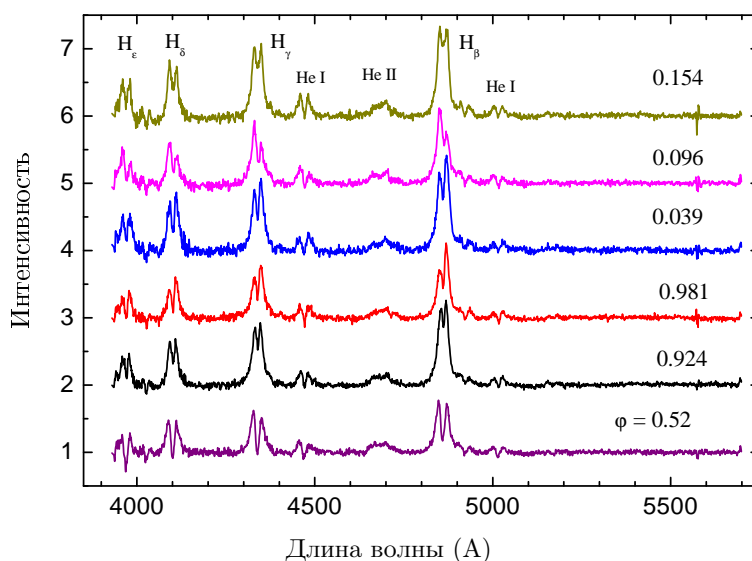


Рис. 1. Нормированные спектры 1RXS J1808, соответствующие различным орбитальным фазам (числа у кривых)

Спектроскопические наблюдения 1RXS J1808 выполнялись на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН с применением редуктора светосилы первичного фокуса SCORPIO [3] в режиме спектроскопии с длинной щелью и приемника EEV CCD 42-40 ( $2068 \times 2048$  пикселя размером  $13.5 \times 13.5$  мкм), установленных в первичном фокусе. Для получения спектров применялась призма VRHG1200g (1200 штрихов/мм), обеспечивающая спектральное разрешение  $\Delta\lambda = 5.0$  Å в рабочем интервале длин волн  $\Delta\lambda$  3950–5700 Å. Наблюдения проводились в ночь с 9 на 10 августа 2008 г. в отличных климатических условиях. Всего получено 16 спектрограмм с одинаковой продолжительностью экспозиции 300 с. Среднее отношение сигнал/шум составило  $S/N = 55$ –65. Для проведения калибровки длин волн одновременно получены спектры Ar–Ne–He-лампы. Обработка спектрограмм была выполнена по стандартной схеме средствами обработки астрономических данных Scorpio2K в среде IDL. Примеры спектров приведены на рис. 1. Линии водорода и нейтрального гелия имеют двухпиковую структуру, и относительная яркость пиков изменяется в ходе затмения.

## 2. Доплеровская томография

Доплеровское картирование системы была выполнено с использованием компьютерной программы dорнар, созданной Х. Шпруитом [4]. Были построены карты распределения яркости в пространстве скоростей системы в линиях  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ , He I  $\lambda$  4471, He II  $\lambda$  4686, He I  $\lambda$  5015. Полученные карты представлены на рис. 2. Распределение яркости во всех трех линиях водорода имеет схожую структуру с двумя яркими пятнами разной интенсивности. Более яркое пятно с  $V_x \approx -600$  км/с и  $V_y \approx 400$  км/с находится вблизи места встречи струи аккрецируемого вещества и аккреционного диска. Второе пятно более протяженное и находится в противоположной стороне диска относительно белого карлика. В картах по линиям нейтрального гелия яркие пятна выражены намного слабее, а в карте соответствующей линии ионизованного гелия они вовсе отсутствуют. Это свидетельствует об относительно невысокой температуре (порядка 7000–9000 К) в области формирования

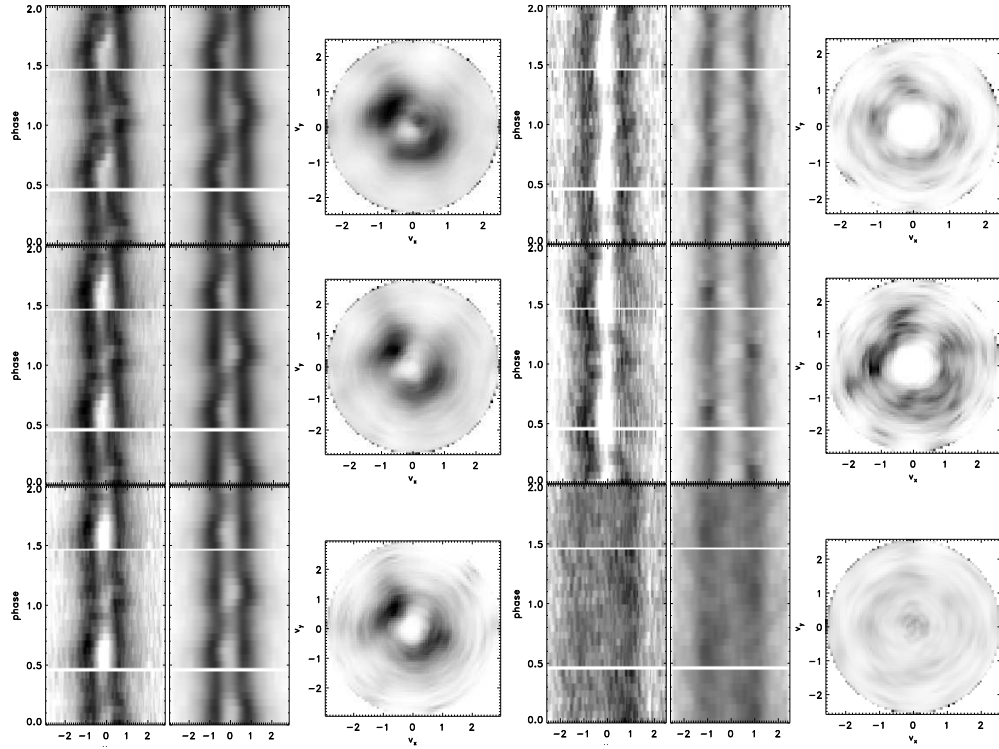


Рис. 2. Доплеровские карты 1RXS J1808. Слева направо: изменения профиля линии в зависимости от фазы, изменения восстановленного с доплеровской карты профиля линии, доплеровская карта. Сверху вниз по линиям: слева:  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ; справа:  $He I \lambda 5015$ ,  $He I \lambda 4471$ ,  $He II \lambda 4686$

эмиссий. Полученные доплеровские карты очень похожи на карты распределения яркости IP Reg в спокойном состоянии [5], где два ярких пятна интерпретируются как 2-рукавные спиральные волны плотности.

Трехмерное гидродинамическое моделирование аккреционных дисков, выполненное Бисикало и др. [6], предсказывает существование возмущения плотности в диске, вращающегося вокруг белого карлика с периодом  $\approx 0.1 - 0.2 P_{\text{orb}}$  и способного вызывать колебания яркости системы с тем же периодом. Второе пятно, видимое на доплеровских картах системы, можно связать с этим возмущением плотности.

### 3. Анализ кривых лучевых скоростей

Значения лучевых скоростей для ряда линий были получены методом Шафтера [7]. Полученные кривые лучевых скоростей для водородных линий  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  приведены на рис. 3. Нулевая фаза соответствует затмению. Основные параметры кривых лучевых скоростей по линиям  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  получены путем аппроксимации их синусоидами. Амплитуды равны соответственно:  $K_1 = 71 \pm 14$ ,  $69 \pm 38$  и  $100 \pm 25$  км/с. Скорости центра масс  $\gamma = -97$ ,  $-122$  и  $-48$  км/с соответственно с такими же ошибками, как и для амплитуд. Точки вблизи затмения при аппроксимации синусоидой не учитывались.

Во всех случаях на нулевую фазу приходится максимальная скорость, а не скорость центра масс, как это должно быть для орбитального движения. Поэтому мы считаем, что кривая лучевых скоростей не описывает орбитальное движение белого карлика, а скорее, отражает лучевую скорость ярких пятен в диске, где эти

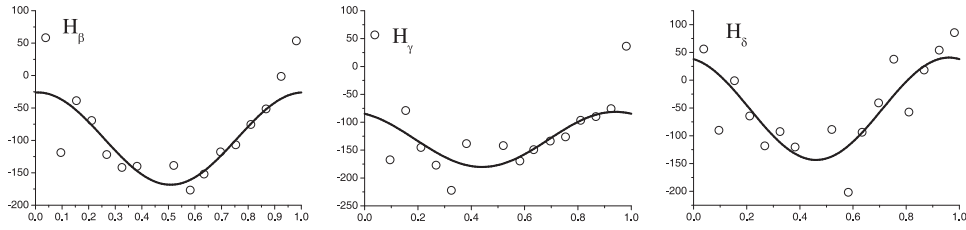


Рис. 3. Кривые лучевых скоростей 1RXS J1808, полученные по линиям  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$

линии и образуются. Значения лучевых скоростей определенные по линиям гелия носят случайный характер и не пригодны для анализа периодичности.

#### 4. Определение параметров системы

Для катаклизмических переменных с малым орбитальным периодом ( $P_{\text{orb}} < 2^{\text{h}}$ ) существует достаточно точная полуэмпирическая зависимость между массой вторичного компонента и периодом системы. Для 1RXS J1808 зависимости масса – период дают  $M_{\text{RD}} \approx 0.12 M_\odot$  (см. [8]) и  $M_{\text{RD}} \approx 0.16 M_\odot$  (см. [9]). Поэтому можно принять значение массы как  $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_\odot$ .

Продолжительность затмения связана с углом наклона  $i$  системы и отношением масс  $q = M_{\text{RD}}/M_{\text{WD}}$  (см. [10]). Для нашего объекта наблюдаемая продолжительность затмения примерно составляет  $\Delta\varphi = 0.03$ , что позволяет получить связь между  $i$  и  $q$ , представленную на рис. 4, а.

Для вычисления параметров использовалась также зависимость между  $i$  и  $q$ , основанная на предположении, что расстояние между пиками двугорбых эмиссионных линий  $\Delta\lambda$  соответствует удвоенной проекции кеплеровской скорости на внешнем крае диска на луч зрения

$$V_{\text{out}} \sin i = \frac{\Delta\lambda}{2\lambda} c = \sqrt{\frac{GM_{\text{RD}}}{qR_{\text{out}}}} \sin i. \quad (1)$$

Внешний радиус диска ограничен приливным взаимодействием вторичной звезды [11], и он примерно равен 0.8 эффективного радиуса полости Роша  $R_{\text{L,WD}}$  [12]). Использовалось расстояние между пиками линии  $H_\beta$  в фазе  $\varphi \sim 0.5$ , что соответствует скорости на краю диска  $V_{\text{out}} \sin i = 700 \pm 50$  км/с. Используя соотношения (1), была вычислена область допустимых значений на зависимости  $i - q$  (рис. 4, а) По ней были определены параметры  $i$  и  $q$ . В итоге получаем:  $M_{\text{WD}} = 0.8 \pm 0.22 M_\odot$ ,  $i = 78^\circ \pm 1.5^\circ$  для  $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_\odot$ ,  $V_{\text{out}} \sin i = 700 \pm 50$  км/с и  $R_{\text{out}} = 0.80 \pm 0.05 R_{\text{L,WD}}$ . Интересно, что для данных параметров системы рассчитанное значение орбитальной скорости белого карлика составляет  $K_1 \approx 70$  км/с, что очень хорошо соответствует величине  $K_1$ , полученной из кривой лучевых скоростей (см. рис. 3).

#### 5. Моделирование кривых блеска

Кривая блеска исследуемой системы в R полосе (рис. 5, а) показывает квазипериодические колебания яркости с периодом  $\approx 0.01331$  ( $\approx 0.19 P_{\text{orb}}$ ), что подтверждается анализом спектра мощности, рассчитанного с помощью программы EFFECT (В. Горанский, ГАИШ, Москва). В кривой блеска в V-полосе (рис. 5, б) соответствующие колебания яркости не наблюдаются, скорее всего, из-за худшего качества наблюдательных данных, но найдено значительное изменение глубин соседних затмений.

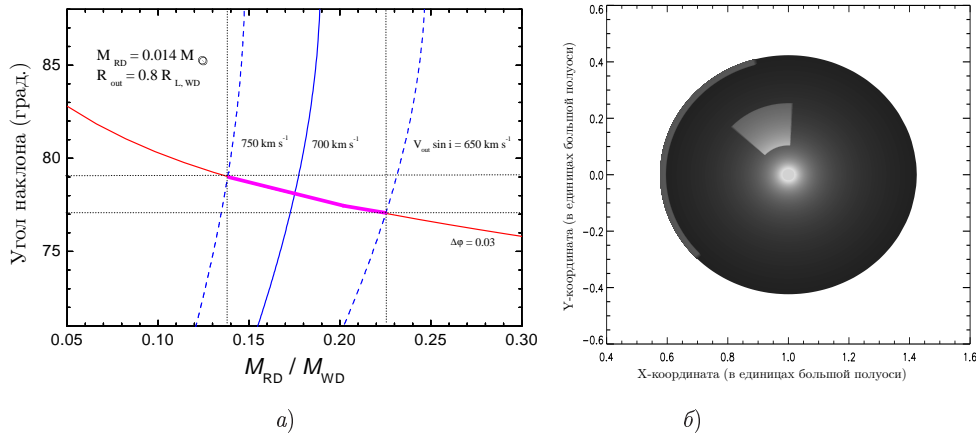


Рис. 4. а) Соотношения между отношением масс  $q$  и углом наклона системы  $i$  для времени затмения  $\Delta\varphi = 0.03$  при разных скоростях внешнего края диска, при массе вторичного компонента  $M_{RD} = 0.14 M_{\odot}$ . б) Модель аккреционного диска с двумя пятнами. Красный карлик слева ( $X < 0.4$ ). Яркость областей диска соответствует температуре. Пятно от струи вторичного компонента изображено схематично (в модели оно занимает боковую часть диска) с искусственно завышенной яркостью для наглядности. Второе пятно вращается вокруг центра диска и, следовательно, может занимать разное угловое положение

Нами было произведено моделирование данных кривых блеска в R- и V-полосах с помощью модифицированной программы Magnitude, описанной в [13]. Модель включала в себя вторичный компонент – аккреционный диск с ярким внешним пятном от струи вторичного компонента, и пятном, обращающимся вокруг белого карлика с периодом  $\approx 0.154 P_{\text{orb}}$  и соответствующем волне плотности (см. разд. 2). Суть моделирования заключается в разбиении поверхности объектов на элементарные площадки и в расчете для каждой площадки интенсивности излучения в приближении черного тела, условия видимости и возможности затмения. Для вычисления полного потока системы суммируется излучение всех видимых в данную фазу площадок. В модели использовались найденные выше параметры системы. Наилучшая аппроксимация достигается при темпе аккреции  $\dot{M} = 6.3 \cdot 10^{15}$  г/с, яркостной температуре пятен  $T_1 = 5200$  К и  $T_2 = 13000$  К и их положении, показанном на рис. 4, а.

Результаты моделирования представлены на рис. 5. Предложенная модель способна объяснить разную глубину соседних затмений в V-полосе и описать часть квазипериодических колебаний в R-полосе. Видимо, в реальности диск имеет более сложную и меняющуюся со временем структуру. Например, по наблюдениям в V-полосе горячее пятно в разные моменты времени имеет явно разную интенсивность, а в наблюдениях в R-полосе после фазы 1.3 квазипериодические колебания блеска (а значит, и волна плотности) вообще исчезают. Необходимы дальнейшие высокоточные фотометрические и спектральные наблюдения для уточнения модели данной системы.

## 6. Выводы

В настоящей работе показано, что 1RXS J1808 – это катаклизмическая переменная с неоднородным распределением яркости в диске, массой компонент  $M_{WD} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$ ,  $M_{RD} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$  и углом наклона системы  $i = 78^\circ \pm 1.5^\circ$ . Доплеровское картографирование и моделирование кривых блеска показало наличие

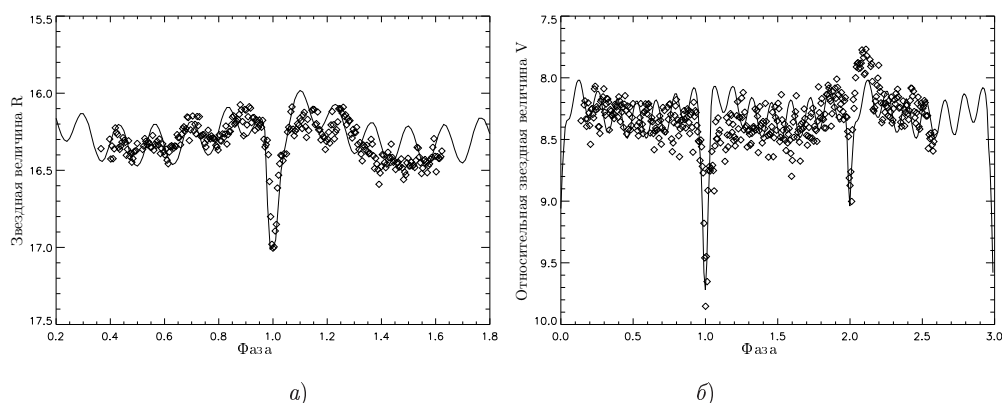


Рис. 5. Наблюдаемые и модельные кривые блеска в R- (слева) и V- (справа) полосах.

в аккреционном диске как минимум двух пятен: пятно в месте удара струи о диск и пятно, соответствующее волне плотности и вращающееся вокруг белого карлика с периодом  $\approx 0.154P_{\text{orb}}$ .

Вероятнее всего, данная система — звезда типа SU UMa в спокойном состоянии, и требуются дальнейшие фотометрические и спектроскопические наблюдения для подтверждения этого вывода.

Авторы искренне благодарны Комитету по тематике больших телескопов САО РАН за многолетнюю поддержку наших программ изучения спектров ТДС, а также выражают признательность ТЮБИТАК, ИКИ и КФУ за поддержку в использовании RTT150 (российско-турецкий 1.5-м телескоп в Анталии).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-02-97013\_р-Поволжье-а).

### Summary

*D. G. Yakin, V. F. Suleimanov, N. V. Borisov, I. F. Bikmaev.* Research of the New Cataclysmic Variable 1RXS J180834.7+101041.

Results of photometric and spectroscopic investigations of the recently discovered cataclysmic variable star 1RXS J180834.7+101041 are presented. Emission spectra of the system show broad double peaked hydrogen and helium emission lines. Doppler maps for the hydrogen lines demonstrate strongly non-uniform emissivity distribution in the disc, similar to that found in IP Peg. It means that the system is a new cataclysmic variable with a spiral density wave in the disc. Masses of the components ( $M_{\text{WD}} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$  and  $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$ ), and the orbit inclination ( $i = 78^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ ) were estimated using the various well-known relations for the cataclysmic variables.

**Key words:** cataclysmic variables, eclipsing stars, 1RXS J180834.7+101041.

### Литература

1. *Denisenko D.V., Kryachko T.V., Satovskiy B.L.* New cataclysmic variable 1RXS J180834.7+101041 // The Astronomer's Telegram. — 2008. — No 1640. — URL: <http://www.astronomerstelegam.org/?read=1640>, свободный.
2. *Bikmaev I.F., Sakhibullin N.A.* RTT150 classification of the new cataclysmic variable 1RXS J180834.7+101041 // The Astronomer's Telegram. — 2008. — No 1648. — URL: <http://www.astronomerstelegam.org/?read=1648>, свободный.

3. *Afanasiev V.L., Moiseev A.V.* The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astron. Lett.* – 2005. – V. 31, No 3. – P. 194–204.
4. *Spruit H.C.* Fast maximum entropy Doppler mapping // *Astrophysics (astro-ph): arXiv:astro-ph/9806141v1.* – 1998. – URL: <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/9806141>.
5. *Neustroev V.V., Borisov N.V., Barwig H., Bobinger A., Mantel K.H., Simic D., Wolf S.* IP Pegasi: Investigation of the accretion disk structure. Searching evidences for spiral shocks in the quiescent accretion disk // *Astron. Astrophys.* – 2002. – V. 393, No 1. – P. 239–250.
6. *Bisikalo D.V., Boyarchuk A.A., Kilpio A.A., Kuznetsov O.A.* A possible manifestation of spiral shock waves in the accretion disks of cataclysmic variables // *Astron. Rep.* – 2001. – V. 45, No 9. – P. 676–685.
7. *Shafter A.W.* Radial velocity studies of cataclysmic binaries. I – KR Aurigae // *Astrophys. J.* – 1983. – V. 267. – P. 222–231.
8. *Knigge C.* The donor stars of cataclysmic variables // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2006. – V. 373. – P. 484–502.
9. *Howell S.B., Nelson L.A., Rappaport S.* An Exploration of the Paradigm for the 2–3 Hour Period Gap in Cataclysmic Variables // *Astrophys. J.* – 2001. – V. 550, No 2. – P. 897–918.
10. *Horne K.* Images of accretion discs. I – The eclipse mapping method // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1985. – V. 213. – P. 129–141.
11. *Paczynski B.* A model of accretion disks in close binaries // *Astrophys. J.* – 1977. – V. 216, No 1. – P. 822–826.
12. *Eggleton P.P.* Approximations to the radii of Roche lobes // *Astrophys. J.* – 1983. – V. 268, No 1. – P. 368–369.
13. *Шиманский В.В., Борисов Н.В., Сахибуллин Н.А., Ступалов М.С., Сулейманов В.Ф.* Эволюционный статус UX CVn // *Астрон. журн.* – 2002. – Т. 79. – С. 726–737.

Поступила в редакцию  
27.12.10

---

**Якин Дмитрий Гавриилович** – младший научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [screplay@mail.ru](mailto:screplay@mail.ru)

**Сулейманов Валерий Фиалович** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета, научный сотрудник Института астрономии и астрофизики Университета г. Тюбингена, Германия.

E-mail: [suleimanov@astro.uni-tuebingen.de](mailto:suleimanov@astro.uni-tuebingen.de)

**Борисов Николай Владимирович** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории РАН.

E-mail: [borisov@sao.ru](mailto:borisov@sao.ru)

**Бикмаев Ильфан Фяритович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: [ibikmaev@yandex.ru](mailto:ibikmaev@yandex.ru)